三井住友建設株式会社	正会員	奥野	夏樹

- 鳥取大学大学院工学研究科 正会員 檜谷 治
- 鳥取大学大学院工学研究科 正会員 梶川 勇樹

<u>1.はじめに</u>

巨礫周辺における浮遊砂の動態に関する研究は従来から行われており,平面的に配置された礫床における浮 遊砂の堆積実験¹⁾や浅水流モデルによる数値解析²⁾等が行われている.これらの研究では,最密充填状態にお ける礫床を想定し,浮遊砂の浮上・堆積過程についてはマクロ的な視点からモデル化されている.一方,河川 環境を考える上で,近年,河床礫の付着藻類が注目されており,その剥離に関しては河床礫に対する浮遊砂の 衝突が重要な役割を担っている.この様な場を数値計算により予測する場合,礫周辺の流況や浮遊砂の動態に ついてミクロ的な視点から詳細に取り扱う必要がある.そこで本研究では,まず,粗礫河床における流れに着 目し,鉛直2次元的な水理実験により詳細な流況測定を行うとともに,数値モデルによる再現計算を試みた.

<u>2.粗礫周辺の流れに関する水理実験</u>

図-1 および表-1 に,本実験の実験装置と実験条件を 示す.図-1に示す様に,実験では幅40cmの水路上下流 側に step を設け,その間に粗礫に見立てた直径11.5cm の塩ビパイプを1.2cm 間隔で横断的に設置した.流速測 定には電磁流速計を使用し,鉛直方向に河床から5mm 間隔,水平方向に礫間1本,礫上で7本の測線を設けた. 水面形の計測にはサーボ式水位計を使用し,流速測定点 の水平方向と同地点で計測した.また,流速・水位とも 1点につき1秒間隔で60秒間計測を行った.実験は表-1 に示す様に,流量を変化させた2ケースを実施した.

3.数値計算モデルと計算条件

本数値モデル³⁾では,座標系にデカルト座標系を採用 し,礫形状に起因する境界条件の問題を,複雑境界形状 でも滑らかに境界条件を課すことのできる FAVOR 法を 基礎式内に導入することで克服している.また,渦動粘 性係数の評価には標準型 k-ε2 方程式モデルを採用し,格 子系にはコロケート格子を採用している.図-2 にコロケ ート格子上における各物理量の定義位置を,その下に, FAVOR 法を導入した連続式および流下方向運動方程式 をそれぞれ示す.基礎式内の各記号は慣用に従うものと する.基礎式の離散化には移流項に QUICK 法を,時間 積分には Adams-Bashforth 法を適用した.圧力について はコロケート格子上における HSMAC 法により算出した.

計算条件を表-2 に示す.計算領域は,段落ち上流部に約 10cmの領域を,段落ち下流部に8 個の礫が存在する



主 1 中 臣 冬 件

	単位幅流量	平均水深	相対水深	摩擦速度	
	$q (\text{cm}^2/\text{s})$	$h(\mathrm{cm})$	h/d	u_* (cm/s)	
Case1	150	3.81	0.33	4.32	
Case2	200	5.25	0.46	5.07	
水路床勾配 $i_b = 1/200$,粗礫粒径 $d = 11.5$ cm					



図-2 数値モデルにおける各物理量の定義位置

〔連続式〕

$$\frac{\partial(A_x u)}{\partial x} + \frac{\partial(A_z w)}{\partial z} = 0$$

〔流下方向(x方向)運動方程式〕

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial (A_x uu)}{\partial x} + \frac{\partial (A_z wu)}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial k}{\partial x} \\ + \frac{1}{V} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_x (v + v_t) \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ A_z (v + v_t) \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} \right]$$

ものとし,流下方向に105.83cm,鉛直方向に21.17cmの 固定領域とした.境界条件として,上流端では単位幅流 量を,下流端では実験水位を与え,固体壁面では壁関数 法を適用した.ここで,数値計算におけるマニングの粗 度係数については,水路床および礫表面に対して同様の 値とし,また,実験では水路床勾配 *i_b* = 1/200 であるもの の,計算では対象領域が狭いため勾配をゼロとした.

4.実験と数値計算の結果考察

実験と数値計算による結果の比較として,図-3 に Caselを,図-4にCase2の比較図をそれぞれ示す.各図 は,それぞれ(a)水面形,(b)流下方向流速分布,(c)流 速ベクトル,(d)鉛直方向流速コンターを示している.

水面形について

実験では,流量の大きさの違いにより下流での水面形 に違いが出た.流量が小さい場合(図-3(a))は礫天端 直上流で山となり,礫天端下流側で谷となっている.一 方,流量が大きい場合は礫天端で山となり,礫間で谷と なっている(図-4(a)).

計算結果を見ると,流量が小さい場合,下流に行くに 従ってその波高は実験結果よりも若干小さいものの,実 験同様の波形の水面形が再現されている(図-3(a)).一 方,流量が大きい場合,水面の山と谷の位相が逆となっ ているが,その波高は近い値を示している(図-4(a)).

流下方向流速分布について

実験値を見ると,流量の大小には影響されず,両ケー スともに礫天端より上部では対数則分布を示し,礫間で は礫の2割程度の深さまで影響が表れていることが分か る(図-3(c),図-4(c)).また,その礫間の流速分布は 礫天端より直線的に減少している.

計算値を見ると,両ケースともに良好にその流速分布 を再現できていることが分かる.

流速ベクトルについて

実験では,両ケースともに,礫間上部の沈み込み部分 において,上流側の礫天端から剥離した流れが礫間に沈 み込み,時計回りの渦を巻くような流れが起きているこ とが分かる(図-3(c),図-4(c)).その渦流は下流に行 くに従って強く表れており,流量が大きい場合にはその 傾向が顕著に表れている(図-4(c)).

計算値と実験値を比較すると,上述のような礫間上部

表-2 計算条件

計算時間間隔 Δt (sec)		0.02		
流下方向メッシュ間隔 Δx (cm)		0.4233		
鉛直方向メッシュ間隔 Δz (cm)		0.4233		
メッシュ数	x方向	250		
	z方向	50		
マニングの相度係数 n=0.008				

case2 実験 case2 計算 磯間 磺天说 河床からの高さ (cm) 16. 14.5 (a) 水面形 流速 実験 <u></u> ·流速 計算 水面形 実 礫天端からの距離 流速 計算 水面形 -10 0 10 40 50 60 流下方向距離 (cm) (b) 流下方向流速分布 50cm/se (III) Z(CII) X(cm)20 Z(cm) X(cm)

(c) 流速ベクトル(上:実験,下:計算)



での渦流が再現できており,下流に行くに従ってその流 況が強くなる傾向も再現できている.ここで,実験では 礫間下部の流況が計測されていないものの,計算では礫 間上部の流況が再現できていることから,下部の流況も 再現できているものと考えられる.礫間下部の流況を見 てみると,上部と同様の渦流が発生しており,流量が大 きいCase2ではCase1に比べて強い渦流が発生している.

鉛直方向流速について

実験値を見ると,流量の大小に依らず,礫天端では直 上流で流れが集中して流向が上向きとなるため,天端に 近いほど上向き流速が大きくなっていることが分かる (図-3(d),図-4(d)).また,礫天端の水面付近から下 流の礫間に向けて,下向きの鉛直方向流速が発達してい ることが分かる.その傾向は,下流に行くほど,また, 流量が大きくなるほど強く表れている.

一方の計算値を見てみると,全体的な流速は実験値よ リ小さいものの,礫天端直上流における上向き流速の発 達,および礫天端水面から下流の礫間に向けて下降流が 生じている点など再現できていることが分かる.また, 下流に行くほど鉛直方向流速が強く表れる点も再現で きており,本数値モデルの妥当性が確認できる.

<u>5.おわりに</u>

本研究では,巨礫周辺の流況を対象として,鉛直2次 元的な実験および数値計算を行った.その結果,本数値 モデルにより,水面形については明確に再現できなかっ たものの,その他流況については良好に再現できており 本数値モデルの妥当性が示された.今後は,浮遊砂を導 入した水理実験を行うとともに,浮遊砂の浮上・堆積過 程を組み込んだ数値モデルを構築していく予定である. 【参考文献】1)藤田光一,山根康嗣,冨田陽子,伊藤嘉 奈子,小路剛志:大礫床表面における砂の堆積状況と浮 遊砂量との関係についての実験的研究,水工学論文集, 第52巻,pp.547-552,2008.2) 関根正人,矢島英明:礫・ シルト充填河床モデルを用いた植生を伴う流路の変動



解析,水工学論文集,第49巻,pp.991-996,2005.3) 梶川勇樹,檜谷治:幅水深比の小さな一様弯曲水路に おける砂堆発生時の局所流に関する3次元数値計算,水工学論文集,第53巻,pp.883-888,2009.